

コグニティブ無線のためのインテリジェントMACレイヤ技術に関する研究開発（092103009） Research and Development of Intelligent MAC Layer Technology for Cognitive Radio

研究代表者

藤井 威生 電気通信大学先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター
Takeo Fujii Advanced Wireless Communication Research Center,
The University of Electro-Communications

研究分担者

田久 修
Osamu Takyu
信州大学工学部
Faculty of Engineering, Shinshu University

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

本研究開発課題では、DSA型コグニティブ無線機向けインテリジェント高度MACレイヤ技術の開発として下記の課題の解決を行う。(1) 無線環境予測及び学習のためのトラフィックを考慮した電波環境測定とモデル化、(2) 無線環境に応じたインテリジェント高度MAC技術の開発、(3) 無線環境予測・学習技術と高度MAC技術の統合によるコグニティブ無線システムの開発、(4) 無線環境測定結果に基づくインテリジェントMAC技術の評価するためのシミュレータの構築。結果として、将来的にコグニティブ無線の概念を持つ無線システム展開に応用可能なMAC技術の検討を行う。

Abstract

This research and development is targeting to the intelligent and advanced MAC layer technologies for the cognitive radio based on dynamic spectrum access (DSA). We set the following items to be solved in this R&D. (1) The measurement and modeling of wireless environment with considering channel traffic for learning and predicting the wireless environment. (2) Development of the intelligent and advanced MAC technology. (3) Proposing a cognitive radio system compounding with the prediction of wireless environment and the learning technologies. (4) Development of simulator for evaluating the proposed intelligent and advanced MAC layer techniques. Finally, we create applicable MAC layer technologies for future cognitive radio systems.

1. まえがき

近年、スマートフォンの急激な普及とともに、無線通信トラフィックが爆発的に増大している。そのため、無線通信媒体である周波数資源の枯渇が深刻な問題となっている。その問題への解決策として、現在コグニティブ無線が注目されている。コグニティブ無線は周囲の無線環境を認識し、その結果に基づき無線機を適応的に再構成することで、無線資源を有効に活用する技術である。

複数の形態が考えられるコグニティブ無線の中で、ダイナミックスペクトルアクセス (DSA) 型のコグニティブ無線は、時間・空間次元の断片化された周波数資源の再利用が可能になるため、周波数資源の利用効率を究極まで高められる技術である。

本研究課題では、DSA 型のコグニティブ無線における、インテリジェント MAC レイヤ技術の検討を進めた。ここで、MAC レイヤ技術とは、周波数資源や信号電力のリソースの制御、および自律分散無線システムにおけるアクセス制御である。そのため、MAC レイヤ技術は、周波数資源の効率を左右する重要な制御機構である。我々は、MAC レイヤ技術に、周辺認識情報の活用や学習および予測機能を付加するインテリジェント化を図った。これにより、現実的な無線通信システムにおいて、無線環境を多角的に解析でき、新たな空き周波数資源を探索、それを活用することを可能にした。その結果、既存の DSA 型コグニティブ無線である IEEE802.11 規格と比較して 3 倍の周波数利用効率の改善を達成した。

2. 研究内容及び成果

2. 1. 無線環境予測及び学習のためのトラフィックを考慮した電波環境測定とモデル化

インテリジェント MAC レイヤ技術の予測・学習に活用できる、無線環境測定、共通モデルの導出、導出モデルの統合シミュレータへの導入を進めた。

帯域の占有率と遷移率に注目し、実測した測定データから、そのチャネルの特徴となる占有率と遷移率を導出する解析ソフトを作成した。そして、無線 LAN 帯域、PHS 帯域、セルラ帯域などの 150MHz から 6GHz の帯域の周波数利用状況の観測および解析を行った。図 1 には PHS 帯域および無線 LAN 帯域の受信信号強度測定を示す。

2. 2. 無線環境に応じたインテリジェント高度MAC技術の開発

インテリジェント MAC レイヤ技術を複数の個別機能に分割し、それぞれの高度化を進めた。具体的には、既存シ

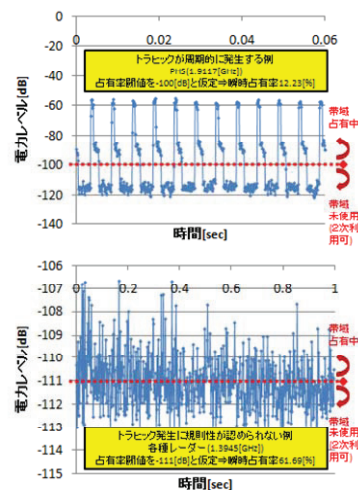


図1 時間に対する受信電力強度 (トラフィックの規則性の有無)

システムによるチャネル利用状況を記録したデータベース構築とその活用。TCP 層との統合検討。空間的な再利用を目指した、送信電力制御とキャリアセンス制御の併用。複数の周波数チャネルにおける、低占有率チャネルを探索するためのチャネル環境測定、および高速チャネル切り替え手法を検討した。具体的な成果例として、データベース構築および TCP 層との統合検討について紹介する。

・PS の送信状態データベースを利用した、PS 保護型アクセス方式の検討

コグニティブ無線機である低優先度のセカンダリシステム (SS) が高優先度のプライマリシステム (PS) の情報をデータベース (DB) 化し、PS 情報の空間・時間変動をとらえる検討を行った。この DB を使い、SS が周波数資源を二次利用する際に、送信パケットの長さなどのパラメータを適応的に制御した。その結果、PS の保護と SS のスループット改善を両立した。

・上位層 (TCP 層) におけるトラヒック生成を考慮したチャネルアクセス

MAC 層の上位にある TCP 層では、End-to-End の通信品質を保持するため、パケット輻輳制御が用いられている。コグニティブ無線環境では、MAC プロトコルが供給するリソースが動的に大きく変わる。よって、TCP 層の輻輳制御をリソース制御と連携させることで空きチャネルの高効率運用が可能である。そこで、TCP 層の輻輳制御に連動した、アクセスプロトコル法を提案した。結果として、従来の CSMA/CA と比較して SS のスループットを約 2.3 倍に向上させることができた。

2. 3. インテリジェント MAC 技術を評価するためのシミュレータの構築

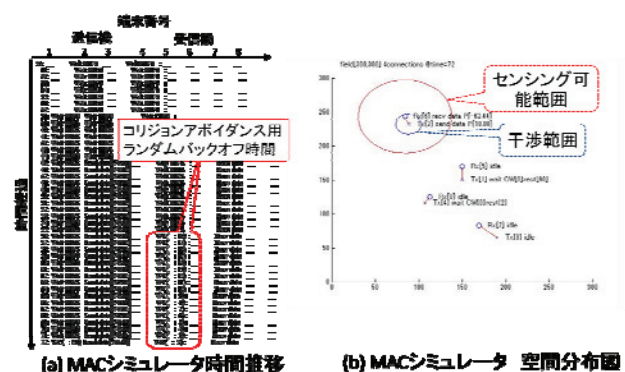


図2 MACシミュレータの動作例

インテリジェント MAC レイヤ技術による周波数資源の運用効率を明らかにするため、実無線環境を模擬するシミュレータを開発した。開発したシミュレータでは、各無線機との相互の影響を、時間および空間的にとらえることができる。それゆえ、MAC レイヤ技術の改良による空き周波数資源の積極的な活用と空間的な再利用の実現を、周波数資源運用効率の改善量として定量的に評価できる。開発したシミュレータの動作画面を示す (図 2)。

評価結果の一例として、送信電力制御とキャリアセンス制御を併用した手法の性能を示す (図 3)。併用法では、PS との周波数資源を共有する際、電力制御による空間共有とキャリアセンス制御による時間共有を併用することで、PS の保護の実現と SS の実行スループットを高めることができる。また、制御レベルを決定するプロトコルでは、衝突や伝送速度の低下などの経験から適切な制御レベルを決定する、経験学習による適応制御を構築した。その結果、IEEE802.11 規格と比較して、2 倍程度のスループットの改善を達成した。さらに、動的チャネル選択を併用することで、3 倍程度のスループット改善を達成すること

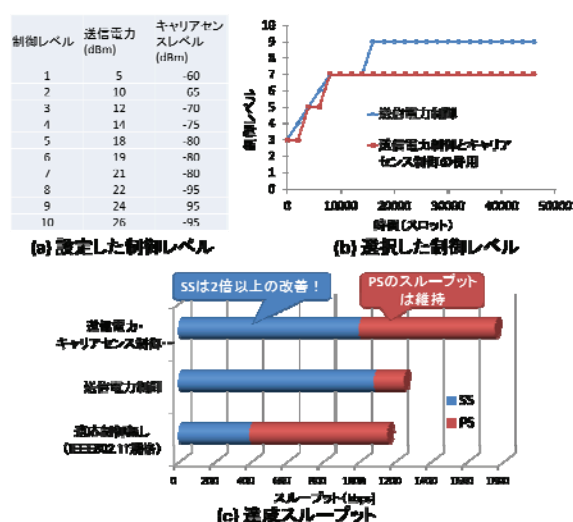


図3 統合シミュレータによる評価結果(送信電力・キャリアセンス併用制御)

を確認しており、目標とする IEEE802.11 規格と比較して 3 倍程度の利用効率改善を実現した。

3. むすび

本研究開発課題では、インテリジェント MAC レイヤ技術の開発を進め、周波数資源の時間・空間的な再利用を実現し、高い周波数利用効率を達成した。

この成果から、利用できる無線周波数資源の拡大が見込め、今後多様な無線アプリケーションへの適用が期待される。例として、交通システムの高度化を実現する ITS 通信や、スマートグリッドなど社会基盤を支えるシステム技術における無線分散ネットワーク構築への応用などが挙げられる。

【誌上発表リスト】

- [1] Shamasad Parvin, Takeo Fujii, "Hidden Node Aware Routing Method Using High Sensitive Device for Multi hop Wireless Mesh Network," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011:114, Sept. 2011
- [2] Osamu Takyu, Takahiro Saiwai, Takeo Fujii, and Yohtarō Umeda, "Performance for MAC Level Channel Capacity in Cognitive Radio with Carrier Sense Multiple Access and Transmitting Power Control," in Proc. IEEE VTC 2011 Fall, Sept. 2011
- [3] Takamasa Kimura, Takeo Fujii, "A CSMA/CA Based MAC Protocol to Improve TCP Performance in Multi-hop Cognitive Network," Proc. SISA 2011, Nagasaki, Japan, Oct. 2011

【申請特許リスト】

- [1] 藤井威生、イムヒョングン、「通信装置及び方法、並びにプログラム」(特願 2010-83167)、日本国、2010 年 3 月 31 日
- [2] 田久修、若尾悠太、藤井威生、笹森文仁、半田志郎、「無線通信利用状況測定装置及び測定方法」、(特願 2012-046248)、日本国、2012 年 3 月 2 日
- [3] 田久修、山北恭之、藤井威生、笹森文仁、半田志郎、「無線通信装置及び通信確立方法」、(特願 2012-046249)、日本国、2012 年 3 月 2 日

【受賞リスト】

- [1] 田久修、研究活動奨励賞、電子情報通信学会 無線通信システム研究会、2011 年 5 月 27 日
- [2] Shamasad Parvin, TriSAI2011 ベストペーパーアワード、2011 年 8 月
- [3] 木村孝政、電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会研究奨励賞、2012 年 5 月 24 日